

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 537 586**

21 Número de solicitud: 201500012

51 Int. Cl.:

F03D 11/04 (2006.01)

G06Q 10/06 (2012.01)

12

SOLICITUD DE PATENTE

A1

22 Fecha de presentación:

23.12.2014

43 Fecha de publicación de la solicitud:

09.06.2015

71 Solicitantes:

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA (100.0%)
Pabellón de Gobierno, Avda. de los Castros s/n
39005 Santander (Cantabria) ES

72 Inventor/es:

BALBÁS GARCÍA, Francisco Javier;
ARANDA SIERRA, José Ramón y
RUIZ PUENTE, María Del Carmen

54 Título: **Procedimiento de repotenciación de un parque eólico**

57 Resumen:

Procedimiento de repotenciación de un parque eólico inicial, configurado para maximizar la reutilización y/o ampliación de infraestructuras y/o elementos constructivos, por el que, cada vez que se avanza en el tiempo y finaliza un año de la vida útil del parque eólico inicial, se realiza un análisis dinámico anual que comprende, entre otras etapas, determinar las líneas de tendencia de la potencia eléctrica media de los aerogeneradores instalados en la región donde se encuentra dicho parque y de la relación entre la potencia de los aerogeneradores y sus dimensiones de rotor; para los años restantes de vida útil realizar y determinar, con los datos previamente estimados, el diseño teórico de un parque eólico repotenciado tal que coincidan la máxima cantidad de infraestructuras y/o elementos constructivos entre dicho parque y el parque eólico inicial construido; obtener la fecha óptima definitiva para realizar la repotenciación en el año en el que se obtiene mayor coincidencia; y realizar la repotenciación del parque eólico mediante el diseño y en la fecha óptima obtenidos.

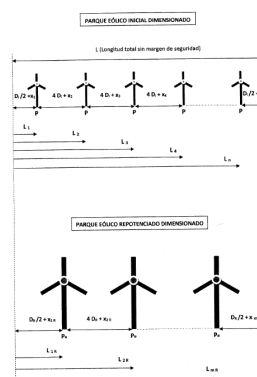


FIGURA 7

DESCRIPCIÓN

Procedimiento de repotenciación de un parque eólico.

5 **Campo de la invención**

La presente invención pertenece al campo de la energía eléctrica, y más concretamente, al de las metodologías de diseño de las instalaciones de generación de energía eléctrica que utilizan el viento como recurso renovable. La aplicación puede plantearse dentro de la sostenibilidad (desde el punto de vista del aprovechamiento de infraestructuras y equipamientos) y de la eficiencia energética (desde el punto de vista de la generación de energía eléctrica mediante el viento como recurso renovable).

15 **Antecedentes de la invención**

Un aerogenerador es un dispositivo que consta principalmente de unas aspas y de una máquina eléctrica. La ubicación del aerogenerador suele estar en lo alto de una torre, siendo su altura proporcional a las dimensiones de las aspas. El conjunto de aerogenerador, aspas y torre se denomina torre aerogeneradora. Las aspas, que giran gracias a la energía cinética del viento, hacen girar a la máquina eléctrica para que ésta produzca energía eléctrica.

La energía cinética que se puede extraer del viento y convertir en energía eléctrica es directamente proporcional al área barrida por las aspas del aerogenerador al girar, según la siguiente expresión:

$$P = 1/2 \rho V^3 \pi r^2$$

donde:

30 P = Potencia (W)

ρ = densidad del viento (Kg/m³)

35 V = velocidad del viento (m/sg)

r =radio del rotor del aerogenerador (m)

40 Por lo tanto, la potencia de un aerogenerador es proporcional al diámetro del área barrida por sus aspas al girar.

El tipo de viento ideal que puede mover las aspas de un aerogenerador para generar energía eléctrica, es un viento de régimen constante y flujo laminar. La existencia de obstáculos en la trayectoria del viento puede originar turbulencias que tienen efectos negativos en la calidad del viento después de haber pasado por los obstáculos (Figura 1).

50 Cuando aparecen turbulencias es preciso que haya un tiempo o distancia de recuperación entre el obstáculo generador de las turbulencias y la próxima torre aerogeneradora para que el viento recupere, lo máximo posible, sus condiciones iniciales de régimen y flujo laminar.

Cuando se diseña un parque eólico cualquiera donde hay más de un aerogenerador y se estudian los lugares de colocación de las torres aerogeneradoras, se deben tener en cuenta las distancias existentes entre las distintas torres aerogeneradoras para aminorar los efectos negativos que pueden aparecer por las turbulencias de viento creadas entre las distintas torres aerogeneradoras y que puedan afectar al rendimiento de las torres aerogeneradoras. Entre estos efectos negativos se encuentra el efecto estela cuya repercusión en el rendimiento de los aerogeneradores puede reducir en un 50% o más el rendimiento en producción del parque eólico.

Para evitar estos efectos existen algunas premisas en la distribución en planta [M Samorani, *The Wind Farm Layout Optimization Problem*] donde se indica que los aerogeneradores deben ser colocados respetando unas distancias mínimas establecidas entre ellos. Estas distancias dependen de la dirección predominante del viento respecto a su distribución en planta, y son proporcionales a su rotor (diámetro de la circunferencia que forman sus aspas al girar) (Figura 2).

Por lo tanto, inicialmente, para definir la disposición o distribución de las torres aerogeneradoras es necesario conocer las direcciones predominantes y velocidades medias que puede tener el viento en el emplazamiento del futuro parque eólico.

Para representar estas direcciones y velocidades se utilizan dos aparatos denominados "veleta y anemómetro" correspondientemente, los cuales, mediante registradores almacenan los datos de las direcciones, velocidades de viento y sus respectivas duraciones que se vayan produciendo en el emplazamiento donde se encuentran instalados. Con los datos registrados se realiza una gráfica que se denomina "rosa de los vientos" (Figura 3) y que representa primero, cuales son las direcciones predominantes y la mayor o menor relevancia de cada una a lo largo de un tiempo determinado de recogida de datos, y segundo, las velocidades medias de viento asociadas a cada dirección predominante.

Por otro lado destacar que la rosa de los vientos obtenida es característica del emplazamiento donde se va a ubicar el parque eólico, por lo tanto:

- La rosa de los vientos es una propiedad del emplazamiento que no depende de las torres aerogeneradoras a utilizar.
- La rosa de los vientos es más precisa y fiable cuantos más datos o registros se dispongan y estos estén repartidos en el mayor tiempo posible. Es decir, de cuanto más tiempo de toma de datos se disponga y más frecuentes sea la toma de estos datos, más precisa es la rosa de los vientos obtenida. De esta forma, se diseña el histórico de datos del emplazamiento.

Respecto al mayor rendimiento de las torres aerogeneradoras y el correspondiente incremento de la generación de energía eléctrica, existen varias disposiciones consideradas como óptimas [Yunus Ero_glu*, Serap Ulusam Seçkiner, *Wind farm layout optimization using particle filtering approach*], a elegir según las características de la rosa de los vientos obtenida.

Considerando, como ejemplo, una disposición a tresbolillo como la de la figura 2 y en función de la variación que tenga el viento en su dirección, existen unos márgenes entre las distancias mínimas de separación entre las torres aerogeneradoras, las cuales

buscan el equilibrio entre dos premisas para optimizar el rendimiento de los aerogeneradores y la producción energética del parque eólico:

- 5 - Primera premisa, que exista una reducción casi total de los efectos negativos generados entre las torres aerogeneradoras, debido a las turbulencias generadas por ellas mismas. Cuanto más alejadas estén unas torres aerogeneradoras de otras, menores efectos negativos existirán entre ellas.
- 10 - Segunda premisa, que exista el mayor número de torres aerogeneradoras posible en el emplazamiento para poder producir la mayor energía eléctrica posible. Cuanto más cerca se sitúen las torres aerogeneradoras entre sí, mayor número de ellas se podrán instalar.

15 Por lo tanto y en general, en una disposición de tresbolillo según la figura 2, se tienen unos márgenes de distancias mínimas a respetar entre las torres aerogeneradoras, para conseguir dicho equilibrio entre reducción de turbulencias y número de torres aerogeneradoras a instalar. Utilizando como unidad de medida de longitud el diámetro o rotor formado por la circunferencia de las palas del aerogenerador al girar, se tienen las siguientes distancias mínimas de separación:

- 20 - Entre 3 y 5 rotores como mínimo de distancia de separación entre torres aerogeneradoras en la dirección transversal a la principal dirección predominante del viento.
- 25 - Entre 5 y 9 rotores como mínimo, de distancia de separación entre torres aerogeneradoras en la principal dirección predominante del viento.

30 Cuando se diseña un parque eólico cualquiera, el objetivo principal buscado en esta fase de estudio es obtener la máxima producción de energía eléctrica posible, ahora bien, puede darse el caso de que incrementar en exceso el número de torres aerogeneradoras no aporte un efecto positivo pues al acercar las torres aerogeneradoras demasiado, siempre respetando las distancias mínimas, se mejora la generación de energía pero también se incrementa significativamente el coste de la inversión inicial y de operación, puesto que se ha incrementado el número de torres. En este caso, lo habitual es
35 seleccionar la instalación de un número menor de torres a mayor distancia de separación.

40 Por lo tanto, también es necesario realizar la búsqueda de un nuevo equilibrio entre la producción energética del número de torres instalado y el coste correspondiente de inversión y operación para obtener del parque eólico el mayor beneficio económico posible, según la siguiente expresión simplificada:

Beneficio económico = Ingresos por producción - coste inversión - costes operativos

45 El estudio económico se desarrolla para la vida útil establecida del parque eólico.

En conclusión, a la hora de diseñar un parque eólico cualquiera y valorar el número de torres aerogeneradoras y su correspondiente ubicación se busca, como objetivo principal, el máximo beneficio económico de la inversión al final de la vida útil establecida para el
50 parque eólico.

Para ello, inicialmente se establecen las posibles distribuciones de las torres aerogeneradoras para incrementar la producción energética, según distancias mínimas a respetar y aerogeneradores a utilizar, para posteriormente seleccionar la alternativa que sea más rentable según balance entre ingresos y costes.

5

Descripción de la metodología habitual (MH) preferentemente utilizada en la actualidad para diseñar un parque eólico en un emplazamiento virgen.

El siguiente esquema presenta las pautas de la descripción de la metodología habitual (MH), utilizada por un proyectista en la actualidad para diseñar un parque eólico en un emplazamiento virgen, el cual se define como parque inicial. Es decir, el parque eólico inicial se define como el primer parque eólico que se construye en un emplazamiento.

10

Presentación de posibles alternativas de parques teóricos iniciales para obtener la máxima producción de energía eléctrica.

15

El parque teórico se define como aquel parque eólico que además de estar dimensionado tiene definidas las ubicaciones exactas de las torres e infraestructuras pero aún no está construido, siendo el parque dimensionado aquel parque eólico que tiene definido el número de torres aerogeneradoras y sus características y además, la separación mínima que debe haber entre torres aerogeneradoras y otras infraestructuras, pero aún no tiene definida la ubicación exacta de dichas torres e infraestructuras.

20

a) Estudio del emplazamiento y del viento característico.

25

Para seleccionar las características de los aerogeneradores y ubicarlos correctamente en el parque eólico, es necesario conocer, de la forma más precisa posible, las características climáticas del futuro emplazamiento del correspondiente parque eólico.

Para ello, se instalan en dicho emplazamiento, uno o dos años antes del diseño del parque eólico, torres meteorológicas para la toma de registros del tipo, la dirección, velocidad y frecuencia del viento, humedad y temperatura ambiental, entre otros.

30

En estas torres meteorológicas se encuentran, entre otros equipos de medida, la veleta y el anemómetro, antes citados, para determinar la rosa de los vientos.

35

Los registros obtenidos permiten definir gráficos como la rosa de los vientos, lo cual es muy útil para la distribución adecuada de las torres aerogeneradoras en el emplazamiento. Además, también aportan información sobre las velocidades del viento y características ambientales, lo cual, permite la correcta selección de los aerogeneradores a instalar.

40

b) Obtención de alternativas de parques dimensionados.

A continuación, se eligen los tipos de aerogeneradores que mejor se adecuen a las características del emplazamiento que se han obtenido. Además estos aerogeneradores deben tener la mayor potencia eléctrica posible, un reducido mantenimiento y unas buenas prestaciones garantizadas.

45

La selección se efectúa entre los aerogeneradores que los fabricantes de aerogeneradores ofrezcan en esos momentos al proyectista, con la máxima garantía posible.

5 Según los datos recopilados anteriormente se plantean vanas alternativas de distribuciones de torres en planta, o ubicaciones de las torres aerogeneradoras, utilizando los distintos tipos de aerogenerador anteriormente seleccionados, y manteniendo las distancias mínimas de separación recomendadas entre torres según las direcciones predominantes y velocidades de viento que defina la rosa de los vientos obtenida.

10 Llegados a este punto se tienen varias alternativas de parques dimensionados, con la cantidad y características de los distintos tipos de aerogeneradores definidos, y manteniendo las distancias mínimas de separación entre torres recomendadas.

15 c) Ubicación exacta de las torres aerogeneradoras en las alternativas de parques dimensionados.

Existen unos márgenes de maniobrabilidad entre las ubicaciones de las torres aerogeneradoras que aparecen debido a que, cumpliendo las distancias mínimas de separación entre torres, la extensión de los terrenos permite un incremento de estas distancias de separación de las torres aerogeneradoras para cuadrarlas con el total de la superficie disponible. Existe, por tanto, un sobrante de separación, el cual puede ser menor que la distancia necesaria para incluir otra torre aerogeneradora, o mayor pero que por la capacidad productiva del parque eólico se plantea como beneficioso la no instalación de nuevas torres.

20 El valor del sobrante se reparte, mediante la metodología habitual, equitativamente entre todas las torres aerogeneradoras, si la disposición de las torres aerogeneradoras así lo permite. En el caso de que no fuese posible, se busca un reparto acorde a las necesidades orográficas.

Llegados a este punto se tienen distintas alternativas de parques teóricos con las ubicaciones exactas de las torres definidas.

35 *Balance económico de las distintas alternativas de parques teóricos para seleccionar aquella con la que se pueda obtener el mayor beneficio económico.*

Una vez planteadas las distintas alternativas de parques teóricos a utilizar, se realiza el estudio económico de todas ellas, planteando inicialmente los parámetros principales de partida, coste de la inversión, coste de operación anual estimada, producción energética anual estimada según potencia y número de aerogeneradores y horas de funcionamiento, para posteriormente obtener el beneficio económico de cada una de las inversiones para la vida útil.

45 A continuación, se procede a la selección de la alternativa del parque teórico que aporte mayor beneficio económico al inversor.

Construcción del parque eólico según el diseño del parque teórico seleccionado.

50 Por último, se lleva a cabo la construcción del parque teórico seleccionado. En dicha construcción el reparto medio de los costes suele oscilar entre las distintas partidas

según se indica en la Figura 4. Es importante destacar que el reparto medio de los costes suele oscilar, en cierta medida, pues depende de varios factores como la orografía del terreno, aerogeneradores elegidos, número de aerogeneradores, etc.

- 5 Descripción de la metodología habitual (MH) preferentemente utilizada en la actualidad para diseñar la repotenciación de un parque eólico construido en un emplazamiento

10 Como continuación del método habitual, anteriormente descrito, para construir un parque eólico en un emplazamiento virgen, se puede continuar con la metodología habitual para proceder a la repotenciación de dicho parque ya construido.

15 Se denomina repotenciación a la acción de cambiar las torres aerogeneradoras de un parque eólico y los servicios auxiliares que así lo requieran, para incrementar la producción de energía eléctrica y mejorar las prestaciones del sistema de generación, y con ello incrementar los beneficios económicos obtenidos por el parque eólico.

20 El esquema de pautas de diseño de un parque eólico repotenciado seguidas por un proyectista mediante la metodología habitual (MH) preferentemente utilizada en la actualidad para diseñar la repotenciación de un parque eólico existente en un emplazamiento, es el siguiente:

- Se elige una fecha determinada para efectuar la repotenciación, siendo, habitualmente, las causas de esta repotenciación:
 - 25 o Los aerogeneradores utilizados en el parque eólico causan elevados gastos de mantenimiento.
 - o Se ha completado la vida útil del parque eólico inicial.
 - 30 o Una vez terminada la vida útil, se considera que los aerogeneradores utilizados en el parque eólico son de muy reducida potencia eléctrica en comparación con los aerogeneradores existentes en el mercado.
- Encontrándose en la fecha prevista para realizar la repotenciación, se realiza un 35 diseño de parque eólico según la metodología habitual, antes descrita, y utilizada en la actualidad para diseñar un parque eólico en un emplazamiento virgen, utilizando las nuevas torres aerogeneradoras habidas en el mercado.
- Posteriormente se realiza un estudio del coste económico de la inversión y los 40 beneficios económicos aportados por dicha repotenciación evaluando las infraestructuras reutilizables o aprovechables del parque eólico existente para contabilizarlas como posible ahorro en la inversión.
- Llegados a este punto se tiene planteado el diseño del parque repotenciado teórico 45 más interesante económicamente.
- Si la repotenciación aporta beneficios, el inversor procede a su construcción según el diseño del parque repotenciado teórico planteado.

Sin embargo, esta metodología utilizada en la actualidad para diseñar un parque eólico en un emplazamiento virgen, o para diseñar su repotenciación, presenta una serie de desventajas.

5 El principal problema en la actualidad de la construcción de parques eólicos se encuentra en que la generación de energía eléctrica mediante viento como recurso renovable es todavía una tipología de generación de energía eléctrica poco madura. Lo cual implica que la construcción de un parque eólico sólo es rentable primeramente, si la energía eléctrica que se genera, en función de la potencia instalada, es suficientemente elevada
10 (con un número de horas de utilización anuales superior a 2000 horas) y seguidamente, si se recibe un incentivo extra por parte del estado denominado "prima a la generación".

Por otro lado, la instalación de parques eólicos comenzó en las zonas terrestres de mejor calidad de viento y mayor número de horas de utilización. De hecho, en la gráfica de la
15 Figura 5, se comprueba que el número de horas de utilización de los parques eólicos en función del año de instalación describen curvas descendentes con el tiempo.

Además, respecto al desarrollo tecnológico de los aerogeneradores se tiene que los aerogeneradores instalados en España han pasado de tener una potencia eléctrica media aerogeneradora de alrededor de 300 kilovatios en 1997 a 2000 kilovatios en 2013 (Figura
20 6). Estas cuestiones implican que según va pasando el tiempo las posibilidades de generación del parque eólico son mayores y que los parques de más de 15 años, que aún no han cumplido su vida útil, pueden estar desperdiciando una energía cinética del viento, convertible en energía eléctrica, muy significativa.

Adicionalmente, se tiene que los aerogeneradores según evolucionan y se desarrollan en el tiempo además de disponer de mayor potencia aerogeneradora, precisan de menor mantenimiento y por tanto, menor coste operativo. Técnicamente también han disminuido sus impactos o efectos negativos en la red eléctrica o sistema eléctrico, favoreciendo su
25 30 integración en dicho sistema eléctrico.

Por lo tanto, referente a la metodología habitual (MH) utilizada en la actualidad por los proyectistas de parques eólicos, y comentada anteriormente, se presentan los siguientes déficits añadidos a la hora de diseñar los parques eólicos:

35 - Al diseñar el parque eólico inicial no se evalúan las posibles reutilizaciones, aprovechamientos o ampliaciones de algunas de las infraestructuras y/o elementos constructivos al realizar una repotenciación una vez terminada la vida útil del parque eólico.

40 Cuando se ha llevado a cabo alguna repotenciación en España (por ejemplo, la del Parque eólico de SEASA) los proyectistas han tenido en consideración el aprovechamiento de algunas partes del parque eólico como la sala de control o la subestación eléctrica, pero en ningún caso se tuvo presente en la fecha del diseño del
45 parque inicial planificar la futura repotenciación para conseguir optimizar la reutilización y/o aprovechamiento de las infraestructuras y/o elementos constructivos que se estaban realizando en ese momento.

50 - Al diseñar el parque eólico inicial no se analiza o valora la posibilidad de repotenciar el parque eólico antes de haber terminado la vida útil del parque eólico.

- Al diseñar el parque eólico inicial no se consideran la evolución tecnológica en la potencia eléctrica nominal generadora y las mejores prestaciones en el mantenimiento de las torres aerogeneradoras.

5 Referente a la metodología habitual de explotación del parque eólico utilizada en la actualidad por los encargados de parques eólicos, comentada anteriormente, se presenta el siguiente déficit añadido a la hora de explotar los parques eólicos:

10 - Durante la explotación del parque eólico durante su vida útil, no se valora la posibilidad de incrementar los beneficios del parque eólico mediante el cambio de aerogeneradores por otros de mayor producción de energía eléctrica y menores costes de mantenimiento, antes del fin de la vida útil del parque a no ser que sea por estricta y obligada necesidad debida a un incremento excesivo de los costes de mantenimiento.

15

Referente a la metodología habitual de repotenciación del parque eólico utilizada en la actualidad por los diseñadores de parques eólicos, se tienen los siguientes déficits:

20 - Al evaluar la fecha adecuada de repotenciación no se tiene como prioridad el máximo aprovechamiento posible de infraestructuras y/o elementos constructivos sin pérdida asociada de beneficio económico.

25 Todo lo expuesto anteriormente implica los siguientes problemas, carencias y/o limitaciones de las metodologías habituales utilizadas en la actualidad:

30 - Falta de planificación previa respecto a una futura repotenciación en el diseño del parque eólico, que permita la optimización en la reutilización y aprovechamiento de las infraestructuras y/o elementos constructivos. No se considera una planificación previa inicial en la distribución del parque que permita incrementar u optimizar la posible reutilización y aprovechamiento de las infraestructuras y/o elementos constructivos en la futura repotenciación y por tanto, se pierde la consiguiente reducción económica de los costes de inversión en dicha futura repotenciación.

35 - Existe un desaprovechamiento del potencial eólico de determinados parques eólicos. En la mayoría de los casos, los primeros parques eólicos instalados se encuentran en los emplazamientos con mayor potencial de energía del viento (Figura 5). Por tanto, al no considerar o valorar una repotenciación anterior al fin de la vida útil se está desaprovechando una mejora en la eficiencia productiva de las instalaciones, la cual mide el ratio entre la energía eléctrica producida respecto la potencia nominal instalada.

40 - Limitaciones productivas y tecnológicas de los parques eólicos debido a la falta de consideración de una repotenciación antes de finalizar la vida útil del parque eólico. No se considera la evolución tecnológica en el desarrollo de los aerogeneradores. Los aerogeneradores han evolucionado enormemente en los últimos años (Figura 6), mejorando sus prestaciones e incrementando su potencia aerogeneradora. Esta falta de consideración, tiene dos consecuencias negativas:

45 o Puede ocasionar una pérdida de generación eléctrica y productividad del parque eólico, pudiendo interesar el cambio de las torres aerogeneradoras por otras

50

más modernas, de mayor potencia y de menores costes de mantenimiento anteriormente a la finalización de la vida útil del parque eólico.

5 o Por otro lado, si se participa de la repotenciación se consigue aportar al sistema de energía, una energía generada por aerogeneradores de mayor calidad y de mejores prestaciones, lo cual favorece la integración de las energías renovables en la red eléctrica y en el sistema energético general.

10 - Pérdida de rentabilidad y de beneficios económicos de la inversión. Según los aspectos indicados anteriormente, hay una pérdida de beneficios económicos durante la explotación de los parques eólicos si no se planifica y considera en el diseño inicial y durante la explotación del parque eólico una posible repotenciación anterior o al finalizar la vida útil del parque eólico.

15 - Se crean limitaciones al crecimiento de la energía eólica de una región. Todos estos inconvenientes imposibilitan una posible reducción de los costes de la generación eléctrica mediante el viento como recurso renovable y una mayor integración de las energías renovables en el sistema eléctrico, es decir son unas limitaciones económicas, técnicas y medioambientales. Además, no se participa de la aplicación de posibles medidas de eficiencia energética en la generación de energía eléctrica.

20 Estas limitaciones pueden frenar el crecimiento de la potencia instalada eólica en una región debido principalmente a dos puntos:

25 o Por un lado desde el punto de vista del inversor, debido a la baja rentabilidad de los parques eólicos y la necesidad de las ayudas estatales. Es decir, es preciso mejorar la rentabilidad de los parques eólicos para que haya una mayor independencia de las ayudas estatales.

30 o Por otro lado, desde el punto de vista del encargado de la gestión del sistema eléctrico de la región, en España Red Eléctrica. Puesto que al ser una tipología de energía con limitaciones técnicas, el gestor debe poner limitaciones al aumento y deslocalización del número de instalaciones de generación eólica construidas para limitar el impacto negativo de dichas energías renovables en el sistema eléctrico correspondiente.

Resumen de la invención

40 La presente invención trata de resolver los inconvenientes mencionados anteriormente mediante un método que permite construir y explotar un parque eólico planificando su futura repotenciación en función del ciclo tecnológico del aerogenerador y así optimizar el beneficio económico y maximizar la reutilización de infraestructuras.

45 Concretamente, en un primer aspecto de la presente invención, se proporciona un método de optimización del beneficio económico de un parque eólico inicial, configurado para planificar su futura repotenciación y maximizar la reutilización y/o ampliación de infraestructuras y/o elementos constructivos, donde cada vez que se avanza en el tiempo y finaliza un año de la vida útil del parque eólico inicial, se realiza un análisis dinámico anual que comprende las etapas de:

50

5 - cada año que se avanza en el tiempo y para una duración de al menos los años restantes de vida útil del parque eólico inicial, calcular la línea de tendencia de la potencia eléctrica media de los aerogeneradores instalados en la región donde se encuentra ubicado el parque eólico inicial, y la línea de tendencia de la relación entre la potencia de los aerogeneradores y sus dimensiones de rotor;

10 - cada año que se avanza en el tiempo, y para los años de vida útil restantes del parque eólico inicial, realizar, con los datos previamente estimados, el diseño teórico del parque eólico repotenciado sin considerar la ubicación exacta de las torres aerogeneradoras e infraestructuras, considerando el emplazamiento en donde se encuentra ubicado el parque eólico inicial, tal que se obtienen las características de los aerogeneradores que según las líneas de tendencia se estima presenten cada año, se define el número de torres aerogeneradoras e infraestructuras y su producción anual estimada y se detallan las distancias mínimas de separación entre las torres aerogeneradoras e infraestructuras sin pérdida de producción energética;

20 - cada año que se avanza en el tiempo, y para los años de vida útil restantes del parque eólico inicial, diseñar teóricamente, y con ubicación exacta de torres aerogeneradoras e infraestructuras, el parque eólico repotenciado, estableciendo una comparativa entre dicho parque eólico repotenciado y el parque eólico inicial construido, tal que coincidan en cada comparativa la máxima cantidad de infraestructuras y/o elementos constructivos, maximizando así la reutilización y el aprovechamiento, y optimizando el beneficio económico;

25 - cada año que se avanza en el tiempo y para los años de vida útil restantes del parque eólico inicial, calcular el beneficio económico dinámico al fin de la vida útil considerada, que se obtiene en el caso de realizar la repotenciación en ese año restante y con el diseño de parque eólico repotenciado con ubicación exacta de torres aerogeneradoras e infraestructuras correspondiente a dicho año restante;

30 - obtener la fecha óptima definitiva para realizar la repotenciación del parque eólico inicial, de tal forma que dicha fecha óptima definitiva coincide con el año en el que se obtiene mayor beneficio económico dinámico;

35 - realizar la repotenciación del parque eólico inicial mediante el diseño de parque eólico repotenciado calculado previamente y en la fecha óptima definitiva.

40 En una posible realización, el beneficio económico dinámico en un año concreto se obtiene de la siguiente manera:

45 - realizar, para una duración de al menos los años restantes de vida útil del parque eólico inicial, la estimación de diversos valores monetarios. En una posible realización, los diversos valores monetarios estimados son: la evolución del coste de instalación por MW instalado; la evolución de los costes de operación y mantenimiento; y la evolución del precio de venta de los aerogeneradores en el mercado de segunda mano;

50 - calcular la reducción de costes que se obtiene en el caso de realizar la repotenciación con el diseño del parque eólico repotenciado con ubicación exacta de torres aerogeneradoras e infraestructuras del año en cuestión, teniendo para ello en cuenta el diseño del parque eólico inicial ya construido, gracias a la reutilización y/o ampliación de infraestructuras planificadas y/o elementos constructivos;

- calcular la reducción de costes que se obtiene en el caso de realizar la repotenciación en el año en cuestión, gracias a la reutilización de aquellas instalaciones e infraestructuras que en un principio no sufren alteraciones, y que pueden ser reutilizadas al repotenciar, independientemente de la realización de una planificación;

5

- obtener, a partir de los diversos valores monetarios estimados y de las reducciones de costes calculadas, los datos necesarios para realizar un análisis económico, considerando la situación actual de la primera inversión en el año correspondiente, los nuevos costes de inversión cuantificando posibles reducciones por reutilización y aprovechamiento, y los nuevos ingresos por producción.

10

En una posible realización, el parque eólico inicial no está construido y, como paso previo al análisis dinámico anual, se realiza un análisis estático en el instante inicial que comprende las etapas de:

15

- diseñar de forma teórica el parque eólico inicial en un emplazamiento virgen sin considerar la ubicación exacta de las torres aerogeneradoras e infraestructuras, tal que se obtienen las características de los aerogeneradores, se define el número de torres aerogeneradoras e infraestructuras y su producción anual estimada, se detallan las distancias mínimas de separación entre las torres aerogeneradoras e infraestructuras sin pérdida de producción energética, y se establece el número de años de vida útil de dicho parque eólico;

20

- calcular, para una duración de al menos la vida útil del parque eólico inicial, la línea de tendencia de la potencia eléctrica media de los aerogeneradores instalados en la región donde se encuentra dicho emplazamiento virgen, y la línea de tendencia de la relación entre la potencia de los aerogeneradores y sus dimensiones de rotor;

25

- para cada año de vida útil del parque eólico inicial, y con los datos previamente estimados, realizar el diseño teórico de un parque eólico repotenciado sin considerar la ubicación exacta de las torres aerogeneradoras e infraestructuras, considerando el mismo emplazamiento virgen en donde se prevé construir el parque eólico inicial, tal que se obtienen las características de los aerogeneradores que según las líneas de tendencia se estima presenten ese año, se define el número de torres aerogeneradoras e infraestructuras y su producción anual estimada y se detallan las distancias mínimas de separación entre las torres aerogeneradoras e infraestructuras sin pérdida de producción energética;

30

35

- para cada año de vida útil del parque eólico inicial, diseñar teóricamente y con ubicación exacta de torres aerogeneradoras e infraestructuras, el parque eólico inicial y el parque eólico repotenciado, estableciendo una comparativa entre ambos, tal que coincidan en cada comparativa la máxima cantidad de infraestructuras y/o elementos constructivos, maximizando así la reutilización y el aprovechamiento, y optimizando el beneficio económico;

40

45

- calcular, para cada año de vida útil del parque eólico inicial, el beneficio económico estático al fin de la vida útil considerada, que se obtiene en el caso de realizar la repotenciación en ese año, y con los diseños teóricos calculados para ese año de parque eólico inicial con ubicación exacta de torres aerogeneradoras e infraestructuras y parque eólico repotenciado con ubicación exacta de torres aerogeneradoras e infraestructuras;

50

- obtener la fecha óptima estimada para realizar la repotenciación del parque eólico inicial, de tal forma que dicha fecha óptima estimada coincide con el año en el que se obtiene mayor beneficio económico estático;

5 - obtener el diseño teórico de parque eólico inicial con ubicación exacta de torres aerogeneradoras e infraestructuras, correspondiente al año en el que se obtiene mayor beneficio económico estático;

10 - construir el parque eólico inicial bajo el diseño que proporciona mayor beneficio económico estático, y con una repotenciación prevista para la fecha óptima estimada.

En una posible realización, el beneficio económico estático en un año concreto se obtiene de la siguiente manera:

15 - realizar, para una duración de al menos la vida útil del parque eólico inicial, la estimación de diversos valores monetarios. En una posible realización, los diversos valores monetarios estimados son: la evolución del coste de instalación por MW instalado; la evolución de los costes de operación y mantenimiento; y la evolución del precio de venta de los aerogeneradores en el mercado de segunda mano;

20 - calcular la reducción de costes que se obtiene en el caso de realizar la repotenciación con los diseños de parque eólico inicial con ubicación exacta de torres aerogeneradoras e infraestructuras y parque eólico repotenciado con ubicación exacta de torres aerogeneradoras e infraestructuras del año en cuestión, gracias a la reutilización y/o ampliación de infraestructuras planificadas y/o elementos constructivos;

25 - calcular la reducción de costes que se obtiene en el caso de realizar la repotenciación en el año en cuestión, gracias a la reutilización de aquellas instalaciones e infraestructuras que en un principio no sufren alteraciones, y que pueden ser reutilizadas al repotenciar, independientemente de la realización de una planificación;

30 - obtener, a partir de los diversos valores monetarios estimados y de las reducciones de costes calculadas, los datos necesarios para realizar un análisis económico, considerando la situación actual de la primera inversión en el año correspondiente, los nuevos costes de inversión cuantificando posibles reducciones por reutilización y aprovechamiento, y los nuevos ingresos por producción.

35 En una posible realización y en el análisis estático, en el caso de que, para un mismo año de vida útil, existan varias alternativas de diseños teóricos de parques eólicos iniciales con ubicación exacta de torres aerogeneradoras e infraestructuras, que permitan el máximo número de coincidencias de infraestructuras y/o elementos constructivos con el parque eólico repotenciado, se obtiene, para dicho año, el beneficio económico estático de todas las posibles alternativas, de tal forma que para ese año concreto de análisis se selecciona la alternativa que presenta un mayor beneficio económico estático.

40 En una posible realización, en el caso de que el mayor beneficio económico dinámico del parque eólico inicial se obtenga en el último año de su vida útil, se analiza el beneficio económico dinámico del parque eólico inicial en los años sucesivos al fin de la vida útil.

50

Breve descripción de las figuras

5 Con objeto de ayudar a una mejor comprensión de las características de la invención, de acuerdo con un ejemplo preferente de realización práctica del mismo, y para complementar esta descripción, se acompaña como parte integrante de la misma, un juego de dibujos, cuyo carácter es ilustrativo y no limitativo. En estos dibujos:

La figura 1 muestra un esquema de la generación de turbulencias en el viento.

10 La figura 2 muestra un esquema de las distancias mínimas entre aerogeneradores según la dirección del viento para una distribución en tresbolillo.

La figura 3 muestra una gráfica de la rosa de los vientos de un emplazamiento determinado.

15 La figura 4 muestra una gráfica de la distribución media de los costes de la instalación de un parque eólico.

20 La figura 5 muestra una gráfica que representa el número de horas medias de utilización de los parques eólicos en función del año según el año de construcción de los respectivos parques.

25 La figura 6 muestra una gráfica que representa la evolución de la potencia media aerogeneradora instalada en función del año, y su línea de tendencia.

La figura 7 muestra las disposiciones de un parque inicial dimensionado (parte superior) y su respectivo parque repotenciado dimensionado (parte inferior), ambos para una disposición lineal.

30 La figura 8 muestra la relación entre la potencia de los aerogeneradores y el diámetro del rotor característico.

La figura 9 muestra el reparto en tanto por ciento de los aerogeneradores instalados en 2012 en función de su potencia eléctrica.

35 La figura 10 muestra una tabla-descriptiva de los parámetros y diseños obtenidos del parque inicial teórico y del parque repotenciado teórico, para cada uno de los "n" años de vida útil de un parque inicial.

40 La figura 11 muestra una tabla-descriptiva de los parámetros y del diseño obtenido del parque repotenciado teórico, para cada uno de los "n" años de vida útil del parque inicial construido.

Descripción detallada de la invención

45 En este texto, el término "comprende" y sus variantes no deben entenderse en un sentido excluyente, es decir, estos términos no pretenden excluir otras características técnicas, aditivos, componentes o pasos.

50 Además, los términos "aproximadamente", "sustancialmente", "alrededor de", "unos", etc. deben entenderse como indicando valores próximos a los que dichos términos

acompañen, ya que por errores de cálculo o de medida, resulte imposible conseguir esos valores con total exactitud.

5 Las características del método de la invención, así como las ventajas derivadas de las mismas, podrán comprenderse mejor con la siguiente descripción, hecha con referencia a los dibujos antes enumerados.

10 Además, se entiende por parque dimensionado aquel parque eólico que tiene definido el número de torres aerogeneradoras y sus características y además, la separación mínima que debe haber entre torres aerogeneradoras y otras infraestructuras pero aún no tiene definida la ubicación exacta de dichas torres e infraestructuras.

15 Además, se entiende por parque teórico aquel parque eólico que además de estar dimensionado tiene definidas las ubicaciones exactas de las torres e infraestructuras pero aún no está construido.

20 Además, se entiende por parque construido aquel parque eólico que se ha construido según un proyecto determinado que definía el número de torres, sus características y la ubicación exacta de torres e infraestructuras.

Además, se entiende por parque inicial el primer parque eólico que se construye en un emplazamiento. Un experto en la materia entenderá que el parque eólico inicial puede ser dimensionado, teórico o construido.

25 Además, se entiende por parque repotenciado a aquel parque eólico que se construye a partir de otro parque eólico existente, cambiando total o parcialmente las torres aerogeneradoras existentes por otras de mayor potencia eléctrica y mejores prestaciones. Un experto en la materia entenderá que el parque eólico repotenciado puede ser dimensionado o teórico.

30 Además, se entiende por vida útil la duración estimada de correcto funcionamiento del parque eólico construido, siendo esta, preferentemente de 20 años.

35 Las siguientes realizaciones preferidas se proporcionan a modo de ilustración, y no se pretende que sean limitativos de la presente invención. Además, la presente invención cubre todas las posibles combinaciones de realizaciones particulares y preferidas aquí indicadas. Para los expertos en la materia, otros objetos, ventajas y características de la invención se desprenderán en parte de la descripción y en parte de la práctica de la invención.

40 A continuación se describe el método de la invención que permite construir y explotar un parque eólico planificando su futura repotenciación en función del ciclo tecnológico del aerogenerador y así optimizar el beneficio económico y maximizar la reutilización de infraestructuras. Por lo tanto, el objetivo principal del método es el análisis, diseño,
45 construcción y explotación de un parque eólico, en busca de una optimización del beneficio económico, teniendo para ello presente la posterior repotenciación con la máxima reutilización y aprovechamiento posible de infraestructuras y/o elementos constructivos. Un experto en la materia entenderá, que se consideran factibles aquellas reutilizaciones y aprovechamientos que tienen una repercusión positiva en los beneficios
50 económicos de la inversión.

La solución aportada se basa en una metodología que está compuesta de un análisis de partida del diseño y construcción de un parque inicial (análisis estático), y de un análisis dinámico anual del diseño de un futuro parque repotenciado, siendo este análisis dinámico realizado durante toda la vida útil considerada del parque.

5

La descripción del método principalmente se centra en el aprovechamiento de las cimentaciones de las torres aerogeneradoras, pudiéndose siempre extrapolar a cualquier tipo de infraestructura o elemento constructivo reutilizable o ampliable.

10

a) En primer lugar, se diseña el parque inicial dimensionado en un emplazamiento virgen, tal y como se encuentra detallado en el estado de la técnica: se detallan las características de los aerogeneradores (potencia nominal y diámetro de rotor), se define el número de torres aerogeneradoras y su producción anual estimada, y se detallan las distancias mínimas de separación entre las torres aerogeneradoras sin pérdida de producción energética. Todo ello para una vida útil estimada del futuro parque inicial.

15

Sin embargo, es importante destacar que en este diseño del parque inicial dimensionado no se define la ubicación exacta de las torres aerogeneradoras.

20

Futuros aerogeneradores y sus características

Para la determinación de los valores característicos de los aerogeneradores en el futuro se recurre a las líneas de tendencia, de tal forma que dichas líneas de tendencia aportan valores estimativos de las variables a lo largo de la vida útil considerada del futuro parque inicial. Un experto en la materia entenderá que para la obtención de dichas líneas de tendencia es preciso utilizar las bases de datos disponibles.

25

Como principales líneas de tendencia a realizar se encuentran entre otras:

30

- b.1) La potencia eléctrica media de los aerogeneradores instalados en la región donde se desarrolla el estudio (Figura 6).

35

- b.2) Relación entre la potencia de los aerogeneradores y sus dimensiones de rotor (Figura 8).

b.1) Para desarrollar la línea de tendencia de la potencia media de los aerogeneradores instalados en la región, se recurre a las bases de datos de la región donde se va a ubicar el emplazamiento, de tal forma que dichas bases contienen, para un número concreto de años previos al estudio, el porcentaje de aerogeneradores instalados por año en función de la potencia eléctrica. Por ejemplo, la figura 9 muestra la base de datos correspondiente al año 2012. Es importante que las bases de datos sean de la región, para que las características del sistema eléctrico sean lo más similares posibles.

40

De estas bases de datos se obtiene, para cada año previo al estudio, un valor medio de potencia del aerogenerador. Preferentemente, este valor medio se depura o corrige, extrayendo de la base de datos anual aquellos valores anómalos, mediante técnicas estadísticas del tipo al "Criterio de Pareto". Estos valores anómalos corresponden, en la mayor parte de los casos, a aerogeneradores experimentales que no son una representación de la mayor parte de los aerogeneradores instalados.

50

A continuación, una vez obtenido el valor medio de potencia del aerogenerador para un número determinado de años previos al estudio, se define la línea de tendencia (Figura 6) con la mejor aproximación a los valores medios depurados o corregidos. La línea de tendencia se extrapola a lo largo de, al menos, la vida útil considerada. Por ejemplo, observando la figura 6, si se desea obtener la línea de tendencia a 20 años desde 2014, y se cuenta con el valor medio de potencia del aerogenerador en los 23 años previos al estudio, dicha línea de tendencia se realiza para los años 1991-2014 (valores conocidos) y se extrapola hasta el año 2034.

Por lo tanto, la línea de tendencia aporta una ecuación tipo según la mejor aproximación, que sirve para obtener los valores estimados en un futuro de la potencia eléctrica de los aerogeneradores.

Finalmente, los datos estimados vienen representados por una ecuación en función del tiempo. En la gráfica representada en la figura 6, como ejemplo, se tiene la expresión siguiente:

$$\text{Potencia} = 98,338 x - 195885$$

Siendo x el año a sustituir.

Cabe resaltar que la gráfica o línea de tendencia utilizada puede aportar una magnitud de potencia que posteriormente se redondea a valores nominales de aerogeneradores.

b.2) Para obtener la relación entre la potencia de los aerogeneradores y sus dimensiones de rotor, se recurre a la base de datos de las dimensiones de todos los aerogeneradores de los que se disponga. En este caso no hace falta discriminar a la región en cuestión pues el desarrollo tecnológico de los aerogeneradores y mejora en el aprovechamiento de la energía cinética del viento, no depende de las características del sistema de potencia de la región donde se va a ubicar el emplazamiento.

A continuación, se define la línea de tendencia, la cual se extrapola a lo largo de, al menos, la vida útil considerada. Por ejemplo, la figura 8 muestra una gráfica extraída de esta base de datos, en donde se representa la potencia aerogeneradores y el diámetro característico de los aerogeneradores.

Esta línea de tendencia aporta una ecuación tipo según la mejor aproximación, que sirve para obtener los valores estimados en un futuro, del diámetro de los aerogeneradores para una potencia eléctrica dada.

Por lo tanto, es posible obtener para cada año que se avance en el tiempo, un valor estimado de potencia de los aerogeneradores y el correspondiente valor estimado del diámetro de dichos aerogeneradores.

c) Con los datos estimados en el paso b) se realiza, para cada uno de los años de la vida útil del futuro parque inicial, el diseño del parque repotenciado dimensionado, considerando el mismo emplazamiento virgen en donde se prevé construir el futuro parque inicial. Es decir, para cada dicho año de vida útil, se detallan las características de los aerogeneradores (potencia nominal y diámetro de rotor) que según las líneas de tendencia se estima presenten ese año, se define el número de torres aerogeneradoras y su producción anual estimada, y se detallan las distancias mínimas de separación entre

las torres aerogeneradoras sin pérdida de producción energética. A partir de estos valores, se define el parque repotenciado dimensionado correspondiente a dicho año.

5 Sin embargo, es importante destacar que en este diseño del parque repotenciado dimensionado, por cada año de vida útil del futuro parque inicial, no se define la ubicación exacta de las torres aerogeneradoras.

10 Es decir, llegados a este punto se cuenta con el diseño del parque inicial dimensionado (paso a); y con los diseños de los parques repotenciados dimensionados (paso c), ambos sin ubicación exacta de torres aerogeneradoras, obtenidos a partir de las líneas de tendencia estimadas (paso b). Un experto en la materia entenderá que, hay tantos diseños de parques repotenciados dimensionados como años de vida útil considerados en el futuro parque inicial.

15 d) A partir del diseño del parque inicial dimensionado (paso a) y de los diseños de los parques repotenciados dimensionados (paso c) se establece, para cada año de vida útil del futuro parque inicial, una comparativa entre el diseño del parque inicial dimensionado y el diseño del parque repotenciado dimensionado correspondiente a ese año, tal que, se haga coincidir, en cada comparativa, la máxima cantidad de ubicaciones de torres
20 aerogeneradoras (extrapolable a la máxima cantidad de infraestructuras y/o elementos constructivos) de ambos parques dimensionados, maximizando así la reutilización y el aprovechamiento.

25 Por ejemplo, para cada año de vida útil del futuro parque inicial, se estudia la ubicación de las torres aerogeneradoras del parque inicial dimensionado y del parque repotenciado dimensionado en el año correspondiente, de tal forma que, por ejemplo, la ubicación exacta del máximo número de torres aerogeneradoras del parque inicial dimensionado coincida con la ubicación exacta del máximo número de torres aerogeneradoras del
30 parque repotenciado dimensionado, obteniendo de esta forma el diseño de ambos parques teóricos. Esta coincidencia máxima entre torres aerogeneradoras se traduce en un mayor beneficio económico. Esto se debe a que a medida que se avanza en el tiempo, la potencia de las torres aerogeneradoras y su rotor aumenta, y por consiguiente la separación entre las torres es mayor y el número de torres, para una misma dimensión de terreno "L", menor. Por lo tanto, un experto en la materia entenderá que hacer coincidir la
35 ubicación del máximo número de torres aerogeneradoras de ambos parques dimensionados, y respetando a su vez las distancias mínimas entre las torres, no es un diseño trivial. Es decir, para la obtención del diseño del parque inicial teórico en cada año de vida útil, se estudia la posible adecuación de las medidas de separación tanto del parque inicial dimensionado como del correspondiente parque repotenciado
40 dimensionado, para obtener así la máxima coincidencia de ubicaciones de torres entre ellos, y por lo tanto, conseguir un mayor beneficio económico estático u obtenido mediante el análisis estático.

45 Para poder hacer esta coincidencia lo más efectiva posible en cada año de la vida útil, el proyectista debe trabajar con los márgenes del parque inicial dimensionado ($x_1, x_2 \dots x_n$) y con los márgenes del correspondiente parque repotenciado dimensionado ($x_{1R}, x_{2R} \dots, x_{nR}$). Estos márgenes aparecen debido a que, cumpliendo las distancias mínimas de separación entre torres aerogeneradoras, la extensión de los terrenos permite un incremento de estas distancias de separación de las torres aerogeneradoras para
50 cuadrarlas con el total de la longitud disponible. Es decir, existe un sobrante de separación, el cual puede ser menor que la distancia necesaria para incluir otra torre

aerogeneradora, o mayor, pero que debido a que los cálculos obtenidos mediante el método tradicional hayan valorado que los gastos económicos en el mantenimiento y/o la reducción del rendimiento energético entre torres aerogeneradoras son mayores que los beneficios obtenidos, se desestima la instalación de una torre adicional.

5

La figura 7 muestra un ejemplo sencillo, en el cual se muestran las disposiciones de dos diseños de parques eólicos dimensionados (es decir, sin ubicación exacta de torres aerogeneradoras) con disposición lineal: el diseño de un parque inicial dimensionado (parte superior) y el diseño de su correspondiente parque repotenciado dimensionado para un año cualquiera de la vida útil. El objetivo del estudio ejemplo es hacer coincidir, si es posible, las ubicaciones de las torres aerogeneradoras, es decir, los puntos "P" del parque inicial dimensionado con los puntos "P_R" del parque repotenciado dimensionado, variando para ello los márgenes entre las torres aerogeneradoras de ambos parques. En este ejemplo, sólo se valora la posibilidad de hacer coincidir las ubicaciones de las torres aerogeneradoras (P y P_R), para el aprovechamiento de las correspondientes cimentaciones, aunque el método de la invención contempla la coincidencia de otro tipo de infraestructuras y/o elementos constructivos que se puedan reutilizar o aprovechar. La distancia mínima de separación entre torres considerada en el ejemplo es de cuatro veces el diámetro correspondiente (en el ejemplo: 4D_i para el parque inicial dimensionado y 4D_R para el parque repotenciado dimensionado).

Es decir, llegados a este punto se cuenta, para cada año de vida útil del futuro parque inicial, con un diseño del parque inicial teórico; y con un diseño del correspondiente parque repotenciado teórico, obtenidos con la máxima coincidencia posible de ubicaciones de torres entre ambos. Por lo tanto, un experto en la materia entenderá que hay tantos diseños de parques iniciales teóricos con sus correspondientes diseños de parques repotenciados teóricos, como años de vida útil considerados en el futuro parque inicial.

e) Para cada año de vida útil del futuro parque inicial, y por lo tanto para cada una de las disposiciones del parque inicial teórico con su correspondiente parque repotenciado teórico, se calcula: la reducción de costes (R_x, siendo x el año correspondiente) que se obtiene en el caso de realizar la repotenciación con los diseños seleccionados y en el año en cuestión, gracias a la reutilización y/o ampliación de infraestructuras planificadas, como por ejemplo en nuestro estudio ejemplo, las cimentaciones de las torres aerogeneradoras.

A todas estas infraestructuras que se aprovechan o donde se mejora el aprovechamiento debido a la adecuada planificación inicial de la repotenciación se las denomina en el texto: infraestructuras reutilizables y/o ampliables con necesidad de previa planificación.

f) También, se calcula, para cada año de vida útil del futuro parque inicial, y por lo tanto para cada una de las disposiciones del parque inicial teórico con su correspondiente parque repotenciado teórico: la reducción de costes (S_x, siendo x el año correspondiente) que se obtiene en el caso de realizar la repotenciación en el año en cuestión, gracias a la reutilización de aquellas instalaciones e infraestructuras que en un principio no sufren alteraciones, y que pueden ser reutilizadas al repotenciar, independientemente de la realización de una planificación, como por ejemplo: el almacén o la sala de control.

A todas estas infraestructuras que pueden ser reutilizadas al repotenciar, independientemente de la realización de una planificación, se las denomina en el texto: infraestructuras reutilizables sin necesidad de planificación.

5 g) Se realiza la estimación de otros valores:

g1) Evolución del coste de instalación por MW instalado.

g2) Evolución de los costes de operación y mantenimiento.

10

g3) Evolución del precio de venta de los aerogeneradores en el mercado de segunda mano.

15 Para la obtención de dichos valores monetarios estimados, se consideran las posibles desviaciones establecidas oficialmente mediante el IPC (índice de precios al consumo) o similares.

20 La evolución de los costes o precios se representan mediante coeficientes que son función del tiempo y que tienen un valor diferente según los años de separación o años de incremento que haya, de tal forma que para un año determinado, su valor es el del año conocido por un coeficiente que tendrá un valor según el año al que corresponda. Los coeficientes principales son los siguientes:

25 Tabla 1: Coeficientes para la estimación de diferentes valores monetarios

Datos estimados	Coeficiente
Coste de instalación por MW instalado	$F_{\text{Año}}$
Costes de operación y mantenimiento	$O\&M_{\text{Año}}$
Precios de la energía	$E_{\text{Año}}$
Precio de venta de los aerogeneradores en el mercado de segunda mano	$P_{\text{Año}}$

30 Por ejemplo, si se desea calcular el precio de la energía en el año 2020, y es conocido el precio de la energía en el año 2013, el precio de la energía para el año 2020 se calcula como:

35
$$\text{Precio energía al 2020} = \text{Precio energía al 2013} \times F \text{ 7 Años}$$

Siendo 7 años los transcurridos entre 2013 y 2020.

40 h) A continuación, se obtienen los datos necesarios para realizar un análisis económico, considerando la situación actual de la primera inversión en el año correspondiente, los nuevos costes de inversión cuantificando posibles reducciones por reutilización y aprovechamiento, y los nuevos ingresos por producción.

Estos datos necesarios, y su forma preferente de cálculo se muestran en la tabla 2, siendo las premisas consideradas para estos cálculos:

- el coste de desmantelamiento, por simplicidad, se extrae de los cálculos;
- 5 - se considera el año "x" como un año cualquiera dentro de la vida útil considerada del futuro parque eólico inicial;
- se considera el año "y" como el año en el que se ejecuta la repotenciación
- 10 - Inicialmente y como premisa de cálculo los años de vida útil del parque inicial teórico y del parque repotenciado teórico se consideran iguales y de valor "n".

15 Tabla 2: fórmulas de ingresos y costes del parque inicial teórico y del parque repotenciado teórico

Dato	Formulas y expresiones
Ingresos del parque inicial teórico durante el año "x" I_{ix}	$I_{ix} = P_i P_{KWh} E_x h_x$ P_i = Potencia instalada del parque inicial teórico (MW) $P_{KWh} E_x$ = Precio del kilovatio hora actualizado al año h_x = horas utilización por año
Ingresos del parque repotenciado teórico durante el año "x" I_{Rx}	$I_{Rx} = P_R P_{KWh} E_x h_x$ P_R = Potencia instalada del parque repotenciado teórico (MW) $P_{KWh} E_x$ = Precio del kilovatio hora actualizado al año h_x = horas utilización por año
Coste de la inversión parque Inicial teórico C_i	$C_i = C_{MW} P_i$ C_{MW} = Coste por MW instalado
Coste anual de la inversión parque repotenciado teórico C_{AR}	$C_{AR} = (C_{MW} P_R F_x - R_x - S_x - V P_x) / n$ F_x = Coeficiente del coste por MW instalado R_x = Reducción del coste de inversión por reutilización con planificación S_x = Reducción del coste de inversión por reutilización sin planificación $V P_x$ = Precio de venta de los aerogeneradores actualizado al año n = número de años de la vida útil

<p>Coste anual de operación y mantenimiento del parque inicial teórico durante el año "x" C_{OMix}</p>	<p>$C_{OMix} = C_{OMMW} O\&M_x P_i$</p> <p>$C_{OMMW} O\&M_x =$ Coste de operación y mantenimiento por MW actualizado al año</p>
<p>Coste anual de operación y mantenimiento del parque repotenciado teórico durante el año "x" C_{OMRx}</p>	<p>$C_{OMRx} = C_{OMMW} O\&M_x P_R$</p> <p>$C_{OMMW} O\&M_x =$ Coste de operación y mantenimiento por MW actualizado al año</p>
<p>Ingresos acumulados al año "y" de la repotenciación para el parque inicial teórico IA_{iY}</p>	<p>$IA_{iY} = I_{i1} + I_{i2} + \dots + I_{iY}$</p>
<p>Ingresos acumulados al año "y" de la repotenciación para el parque repotenciado teórico IA_{rY}</p>	<p>$IA_{rY} = I_{rY+1} + I_{rY+2} + \dots + I_{rn}$</p>
<p>Coste de la inversión parque repotenciado teórico en el año "y" de la repotenciación C_{rY}</p>	<p>$C_{rY} = [(C_{MW} P_R F_Y - R_Y - S_Y - V P_Y) / n] (n-Y)$ $n =$ número de años de la vida útil</p>
<p>Costes acumulados de operación y mantenimiento al año "y" de la repotenciación del parque inicial teórico CA_{OMiY}</p>	<p>$CA_{OMiY} = C_{OMi1} + C_{OMi2} + \dots + C_{OMiY}$</p>
<p>Costes acumulados de operación y mantenimiento al año "y" de la repotenciación del parque eólico repotenciado teórico CA_{OMrY}</p>	<p>$CA_{OMrY} = C_{OMrY+1} + C_{OMrY+2} + \dots + C_{OMrn}$</p>

5 No obstante, un experto en la materia entenderá que es posible considerar cualquier otro coste o ingreso que se estime adecuado, en función del estudio concreto a realizar.

10 i) a partir de los datos obtenidos en el paso anterior, se calcula, para cada año de vida útil del futuro parque inicial, el beneficio económico estático (B_x , siendo x el año correspondiente) al fin de la vida útil considerada del futuro parque inicial, que se obtiene en el caso de realizar la repotenciación en ese año, y con los diseños teóricos calculados para ese año del parque inicial teórico y del parque repotenciado teórico. La siguiente tabla, muestra la forma de cálculo de dicho beneficio económico:

15

20

Tabla 3: fórmulas del beneficio económico

Dato	Formulas y expresiones
Beneficios económicos totales obtenidos al fin de la vida útil considerada, habiendo ejecutado la repotenciación en el año "Y" B_Y	$B_Y = (IA_{iY} - C_i - CA_{OMiY}) + (IA_{rY} - C_{rY} - CA_{OMrY})$
Beneficios económicos totales del parque inicial teórico durante la vida útil del parque, sin considerar la repotenciación anterior al fin de la vida útil considerada y comienzo de un nuevo ciclo B_n	$B_n = IA_{in}, C_i, CA_{OMin}$ <p>Puesto que $IA_{rn} = C_{rn} = CA_{OMrn} = 0$</p>

- 5
- 10 Es importante destacar que la obtención del beneficio económico obtenido al realizar la repotenciación planificada para cada año de la vida útil, se considera con referencia al mismo valor de tiempo, es decir, para el fin de la vida útil inicialmente considerada para el futuro parque inicial. Por lo tanto, se considera, en el análisis económico de la repotenciación planificada de un año de vida útil cualquiera, la inversión total del parque inicial teórico, y solamente la inversión de los años correspondientes del parque repotenciado teórico, consiguiendo una verdadera muestra comparativa de los beneficios entre los distintos años posibles de ejecutar la repotenciación. Por ejemplo, para una repotenciación planificada desarrollada en el año 16 de una vida útil considerada de 20 años, se considera el coste de la inversión total del parque inicial teórico más el coste de inversión correspondiente a $20-16=4$ años del parque repotenciado teórico. De la misma forma se opera para los demás valores, como los ingresos, gastos de operación y mantenimiento, etc.
- 15
- 20 Es decir, llegados a este punto se tiene, para cada año de la vida útil del futuro parque inicial, un beneficio económico estático calculado a la fecha del fin de la vida útil considerada, equivalente a la ejecución de una repotenciación planificada en el año en cuestión y para los diseños de los parques inicial y repotenciado teóricos correspondientes.
- 25
- j) Se selecciona el beneficio económico estático mayor de todos los años de vida útil planteados, lo cual aporta la siguiente información:
- 30
- La obtención del parque inicial teórico más adecuado, es decir aquel que aporta mayor beneficio económico estático y máxima reutilización y/o ampliación de las infraestructuras en el proceso de repotenciación. Por ejemplo, si el mayor beneficio económico estático se obtiene en el año 16 (B_{16}), el diseño del parque inicial teórico a construir es aquel que corresponde al calculado previamente para el año 16.
- 35
- La fecha óptima estimada para la repotenciación del futuro parque inicial, para conseguir el máximo beneficio económico estático de la inversión al final de la vida útil considerada, y el máximo ahorro mediante el aprovechamiento de las infraestructuras y/o elementos constructivos realizados en la construcción del parque inicial, en nuestro estudio ejemplo las cimentaciones de las torres aerogeneradoras.

Siguiendo con el ejemplo anterior, la fecha óptima estimada para la repotenciación es en el año 16 de vida útil del parque inicial.

5 Además, en el supuesto de que haya, para un mismo año de vida útil del futuro parque inicial, varias alternativas de diseños de parques iniciales teóricos (paso d), por ejemplo, porque existe más de una configuración que permite la máxima coincidencia entre torres aerogeneradoras en los parques teóricos inicial y repotenciado, preferentemente se realiza, para cada año de vida útil que presenta al menos dos posibles diseños teóricos, el análisis económico tal y como se ha descrito anteriormente, de tal forma que para ese
10 año concreto de análisis se seleccionan los diseños teóricos de parques inicial y repotenciado que presentan mayor beneficio económico estático. Un experto en la materia entenderá que, en cualquier caso, el mayor beneficio obtenido para un mismo año de entre los posibles diseños de parques eólicos, no tiene por qué corresponderse con el máximo beneficio a lo largo de la vida útil, siendo este último máximo beneficio el
15 que da lugar a la elección del parque inicial, tal y como se ha explicado anteriormente.

k) A continuación, se construye el parque inicial bajo el diseño que proporciona mayor beneficio económico estático, y con una repotenciación prevista para la fecha óptima
20 estimada.

La figura 10 muestra una tabla-descriptiva de los pasos del método correspondientes al análisis estático con el principal objetivo de la coincidencia de ubicación de torres, para una vida útil de un parque inicial de "n" años. Para cada uno de los "n" años, se obtienen los diseños teóricos del parque inicial y del repotenciado, que mayor coincidencia de
25 ubicación de torres aerogeneradoras presentan entre ellos, y el beneficio económico estático obtenido en cada año con los diseños correspondientes.

l) Con el parque inicial construido y operativo, cada vez que se avanza en el tiempo y finaliza un año de su vida útil, se realiza un análisis dinámico para analizar posibles
30 desviaciones en las decisiones estimadas inicialmente. El hecho de seguir analizando los beneficios de la repotenciación año por año, aporta datos estimados más fiables y seguros.

Por lo tanto, cada año que se avanza en el tiempo, se realiza de nuevo, para los años de
35 vida útil restantes del parque inicial construido, una nueva estimación actualizada de los valores de los futuros aerogeneradores: potencia eléctrica media de los aerogeneradores instalados en la región donde se encuentra ubicado el parque inicial construido, y relación entre la potencia de los aerogeneradores y sus dimensiones de rotor, tal y como se explicó en el paso b.
40

El motivo de realizar nuevamente este análisis, es que según se avanza un año en el tiempo, se conocen los valores reales de los años previos, los cuales fueron estimados en el instante previo a la construcción del parque inicial (paso b). También, a medida que se avanza en el tiempo, se obtiene mayor cantidad de datos del tipo: registros de datos
45 de velocidad de viento, dirección de viento, horas de utilización..., lo cual permite definir con mayor precisión parámetros como la rosa de los vientos, parámetro importante para definir el número de torres aerogeneradoras. Además, se tienen nuevos datos sobre la evolución tecnológica de los aerogeneradores y sus correspondientes características. Es decir, un experto en la materia entenderá que al disponer de datos reales en los años
50 anteriores, las líneas de tendencia y datos estimados a lo largo de la vida útil considerada son más precisos y fiables puesto que parte de dichos datos utilizados son reales y la

línea de estimación, prolongada al menos hasta la fecha útil considerada, es más corta en el tiempo.

5 m) Con los nuevos datos estimados actualizados al finalizar cada año de vida útil del
parque inicial construido, se realiza, para cada uno de los años de la vida útil restantes, el
rediseño del parque repotenciado dimensionado, considerando el mismo emplazamiento
en donde se encuentra ubicado el parque inicial construido. Es decir, cada año que
avanza en el tiempo, y para los años de vida útil restantes del parque inicial construido,
10 se detallan las características de los aerogeneradores (potencia nominal y diámetro de
rotor) que según las líneas de tendencia se estima presenten cada año, se define el
número de torres aerogeneradoras y su producción anual estimada, y se detallan las
distancias mínimas de separación entre las torres aerogeneradoras sin pérdida de
producción energética. A partir de estos valores, y siempre que se avance un año en el
15 tiempo, se redefine el parque repotenciado dimensionado correspondiente a cada año
venidero. Sin embargo, es importante destacar que aún no se considera la ubicación
exacta de las torres aerogeneradoras.

Es decir, llegados a este punto se cuenta, además de con un parque inicial construido en
un emplazamiento determinado, con los rediseños de los parques repotenciados
20 dimensionados obtenidos a partir de las nuevas líneas de tendencia estimadas
actualizadas. Un experto en la materia entenderá que hay tantos rediseños de parques
repotenciados dimensionados como años de vida útil restantes considerados en el
parque inicial construido en el momento del estudio.

25 n) Una vez finaliza un año en el tiempo, y a partir de los rediseños de los parques
repotenciados dimensionados para los años restantes de vida útil del parque inicial
construido, se establece, para cada uno de dichos años restantes, una comparativa entre
el diseño del parque inicial construido y el rediseño del parque repotenciado
dimensionado correspondiente a ese año, tal que, para cada año de vida útil restante del
30 parque inicial construido, coincidan en cada comparativa la máxima cantidad de
ubicaciones de torres aerogeneradoras. De esta forma se puede obtener el máximo
beneficio económico dinámico y reutilizar y aprovechar el máximo posible de las
cimentaciones de las torres aerogeneradoras del parque inicial construido.

35 Por lo tanto, para cada año que se avanza en el tiempo, se realiza un análisis completo
para cada año de vida útil restante. Por ejemplo, se estudia la ubicación de las torres
aerogeneradoras del parque repotenciado dimensionado para cada año de vida útil
restante, de tal forma que el máximo número de ubicaciones de torres aerogeneradoras
de cada parque repotenciado dimensionado coincidan con el máximo número de
40 ubicaciones de torres aerogeneradoras del parque inicial construido. Para poder hacer
esta coincidencia lo más efectiva posible en cada año de la vida útil, el proyectista debe
trabajar únicamente con los márgenes del parque repotenciado dimensionado (x_{1R} , x_{2R} , ..., x_{nR}),
ya que el parque inicial ya está construido. Es decir, a diferencia de los pasos
previos, llegados a este punto el parque inicial ya tiene un diseño de construcción y
45 ubicación definitiva de las infraestructuras, por tanto el parque inicial construido no
dispone de márgenes de maniobra de distancias en la ubicación de las torres
aerogeneradoras, situándose éstas en una ubicación fija. Tampoco dispone de otras
posibles variaciones que se pudieran haber valorado en el diseño inicial, además de las
ubicaciones de las torres aerogeneradoras.

50

Este análisis dinámico es válido para, además de posibilitar la confirmación o no, de las previsiones del análisis de partida, validar (o en caso de no confirmación, rectificar) el diseño del parque repotenciado teórico al finalizar cada año de vida útil del parque inicial construido y para los años de vida útiles restantes.

5

Por lo tanto, llegados a este punto se cuenta con, cada vez que finaliza un año de vida útil del parque inicial construido y para cada año de vida útil restante, el diseño del parque inicial construido con un rediseño del parque repotenciado teórico, obtenidos mediante la máxima coincidencia de ubicación de torres aerogeneradoras entre ambos. Por lo tanto, un experto en la materia entenderá que hay tantos rediseños de parques repotenciados teóricos, como años de vida útil restantes en el momento del estudio.

10

o) A partir de los datos obtenidos y actualizados en los pasos anteriores, se calcula, siempre que finaliza un año de la vida útil del parque inicial construido y para cada año de vida útil restante, el beneficio económico dinámico (B_x , siendo x el año correspondiente) al fin de la vida útil considerada, que se obtiene en el caso de realizar la repotenciación en ese año restante, y con el diseño de parque inicial construido y el correspondiente rediseño de parque repotenciado teórico calculado para ese año restante. Para este cálculo se utilizan las fórmulas planteadas anteriormente.

15

20

Es decir, llegados a este punto se tiene, para cada año restante de la vida útil del parque inicial construido, un beneficio económico dinámico calculado a la fecha del fin de la vida útil considerada, equivalente a la ejecución de una repotenciación planificada en el año en cuestión y para el rediseño de parque repotenciado teórico correspondiente.

25

p) cada año que avanza en el tiempo, y tras realizar el análisis descrito, se selecciona el beneficio económico dinámico mayor de todos los años de vida útil restantes del parque inicial construido, lo cual aporta la siguiente información:

30

- Si la fecha del valor del beneficio económico dinámico mayor de todos los años de vida útil restantes, coincide con la fecha óptima estimada en el análisis estático (paso j), se confirman las previsiones establecidas en la construcción del parque inicial. Además, al ser correctas las previsiones iniciales, el beneficio económico dinámico de una posible repotenciación es mayor debido a que el parque inicial se construyó según la planificación previamente planteada para aprovechar al máximo las cimentaciones de las torres aerogeneradoras en una hipotética repotenciación en la fecha óptima estimada.

35

40

- Si la fecha del valor del beneficio económico dinámico mayor de todos los años de vida útil restantes, no coincide con la fecha óptima estimada en el análisis estático (paso j), se analizan con mayor detalle los años posteriores pero el método no pierde validez ya que el método sigue buscando el máximo beneficio con la máxima reutilización y aprovechamiento de infraestructuras y/o elementos constructivos. En este caso, la fecha óptima estimada de repotenciación se actualiza al nuevo valor obtenido. En cualquier caso no existen pérdidas, puesto que en ningún momento ha habido reducción de la potencia instalada, ni gasto o coste añadido en la previsión o planificación del parque inicial.

45

50

Por lo tanto, el análisis dinámico permite, además de confirmar o rectificar las previsiones del análisis de partida y validar o rectificar el diseño del parque repotenciado teórico al finalizar cada año de vida útil del parque inicial construido y para los años de vida útiles

restantes, estudiar la tendencia hacia la fecha óptima definitiva de repotenciación del parque inicial construido.

5 Preferentemente, en el caso de que el mayor beneficio económico dinámico del parque inicial construido se obtenga en el último año de su vida útil considerada, se analiza, mediante la metodología propuesta, el beneficio económico del parque inicial construido en los años sucesivos al fin de la vida útil, es decir se estudia una posible ampliación de la vida útil.

10 La figura 11 muestra una tabla-descriptiva de los pasos del método correspondientes al análisis dinámico con el principal objetivo de la coincidencia de ubicación de torres. Para ello, se cuenta con un parque inicial construido, por ejemplo, hace 9 años, cuya vida útil es de "n" años, por lo que existen valores reales de los 9 primeros años de vida útil y se pretende realizar el análisis dinámico a partir del año 10. La descripción de la tabla, para el ejemplo tratado, es la siguiente:

- 15 - La columna 1 representa cada uno de los "n" años de la vida útil considerada del parque inicial construido.
- 20 - La columna 2 representa la ubicación exacta de las torres aerogeneradoras del parque inicial construido y sus características (potencia, rotor, etc.). Un experto en la materia entenderá que puesto que dicho parque inicial ya está construido, su diseño es único e independiente de los años de vida útil.
- 25 - La columna 3 representa, los valores reales de las características de los aerogeneradores en los primeros 9 años de vida útil, y las líneas de tendencia de estos valores para al menos el resto de su vida útil.
- 30 - La columna 4 representa, una vez finalizado el año 9 de vida útil del parque inicial construido y para los años de vida útil restantes, los rediseños de los parques repotenciados dimensionados (sin ubicación de torres): características de los aerogeneradores (potencia nominal y diámetro de rotor) que según las líneas de tendencia se estima presenten cada año, número de torres aerogeneradoras y su producción anual estimada, y se detallan las distancias mínimas de separación entre dichas torres sin pérdida de producción energética.
- 35 - La columna 5 representa, una vez finalizado el año 9 de vida útil del parque inicial construido y para los años de vida útil restantes, los rediseños de los parques repotenciados teóricos (con ubicación de torres), habiendo realizado previamente la búsqueda de coincidencias de las ubicaciones de torres aerogeneradoras entre cada parque repotenciado dimensionado y el parque inicial construido.
- 40 - La columna 6 representa, una vez finalizado el año 9 de vida útil del parque inicial construido y para los años de vida útil restantes, la reducción de costes (R_x , siendo $9 < x < = n$) que se obtiene en el caso de realizar la repotenciación en cada año restante, y con el diseño del parque repotenciado teórico obtenido, gracias a la reutilización y/o ampliación de las cimentaciones de torres aerogeneradoras. Esta reducción de costes está actualizada hasta el año 9, gracias a los valores reales existentes para los años 1-9.
- 45
- 50

- La columna 7 representa, una vez finalizado el año 9 de vida útil del parque inicial construido y para los años de vida útil restantes (años 10-n), la reducción de costes (R_x , siendo $9 < x \leq n$) que se obtiene en el caso de realizar la repotenciación en cada año restante, gracias a la reutilización de aquellas instalaciones e infraestructuras que en un principio no sufren alteraciones, y que pueden ser reutilizadas al repotenciar, independientemente de la realización de una planificación. Esta reducción de costes está actualizada hasta el año 9, gracias a los valores reales existentes para los años 1-9.
 - la columna 8 representa el resto de los valores necesarios para el análisis económico, referidos a la inversión del parque inicial construido y a la inversión del parque repotenciado teórico para el año considerado, estando dichos parámetros actualizados para los años venideros (años 10-n), gracias a los valores reales obtenidos de los años previos (años 1-9).
 - la columna 9 representa el beneficio dinámico (B_x) del parque inicial construido, efectuada la repotenciación el año "x" y valorado al fin de la vida útil considerada (n años).
- q) Por último, y cuando al realizar el análisis dinámico anual se alcance el año con mayor beneficio económico dinámico B_x , el método obtiene la fecha óptima definitiva para realizar la repotenciación del parque inicial construido. En ese momento se procede a la repotenciación del parque inicial construido para conseguir el máximo beneficio económico para el inversor, con el correspondiente máximo aprovechamiento y reutilización de las cimentaciones de torres aerogeneradoras existentes.

Finalmente, es importante destacar que el método de la invención puede aplicarse, además de a futuros parques eólicos aún sin construir en un emplazamiento virgen concreto (superficies terrestres o mar), a aquellos parques eólicos ya construidos, de tal forma que en función del ciclo de vida tecnológico de los aerogeneradores se obtiene el año para realizar la repotenciación del parque eólico que implica mayor beneficio económico y máximo aprovechamiento de infraestructuras y elementos constructivos.

Un experto en la materia entenderá que en el caso de aplicar el método a un parque eólico ya construido, sólo es preciso realizar el análisis dinámico anual del mismo (pasos l, m, n, o, p, q), y por lo tanto analizar los años restantes de vida útil del parque inicial ya construido. Por lo tanto, el método de la invención es interesante tanto para los actuales como los futuros promotores de la energía eólica, y puede complementar a los actuales programas de análisis de parques eólicos ya existentes en el mercado.

Por último, mencionar que en el caso de que no interesase el aprovechamiento de las cimentaciones de las torres aerogeneradoras, el método propuesto también se puede utilizar para conseguir que no coincidan las cimentaciones de las torres del parque eólico inicial y las del parque eólico repotenciado.

El método de la invención presenta una serie de ventajas con respecto a los métodos existentes en la actualidad para el diseño de un parque eólico inicial, ya que permite:

- programar la fecha de repotenciación para obtener el mayor beneficio económico y posibilitar la máxima reutilización y aprovechamiento posible de infraestructuras y/o elementos constructivos.

- adecuar dicha fecha óptima de repotenciación a la evolución tecnológica de los aerogeneradores, y a la tipología propia del emplazamiento.
- 5 - maximizar la reutilización y ampliación de infraestructuras y/o elementos existentes y/o facilitar las posibles ampliaciones, aumentando los beneficios económicos obtenidos, sea cual sea la fecha seleccionada para realizar la repotenciación.
- 10 - reducir los costes de instalación para las sucesivas repotenciaciones, pudiendo alcanzar una reducción del 10% en los costes de la inversión frente a los de una repotenciación sin previa planificación.
- facilitar la comparativa y selección de los valores óptimos asociados a la repotenciación.
- 15 - reducir los costes operativos, al mejorar las prestaciones de los aerogeneradores.
- rentabilizar al máximo el parque eólico haciéndolo participe del avance tecnológico y productivo de los aerogeneradores, pudiendo incrementar los beneficios de la instalación en la vida útil inicial estimada más de un 20%.
- 20 - reducir la dependencia económica que en la actualidad tienen los parques eólicos de las ayudas estatales.
- mejorar el aprovechamiento de los parques eólicos de mayores posibilidades por calidad de viento y número de horas de utilización.
- 25 - favorecer el desarrollo de la energía eólica y su integración en el sistema de potencia.
- acelerar en el tiempo las ventajas medioambientales de la repotenciación, como la reducción del impacto medioambiental paisajístico y acústico al reducir el número de torres aerogeneradoras y mejorar su aislamiento acústico y prestaciones.
- 30

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de repotenciación de un parque eólico inicial, configurado para maximizar la reutilización y/o ampliación de infraestructuras y/o elementos constructivos, y caracterizado por que cada vez que se avanza en el tiempo y finaliza un año de la vida útil del parque eólico inicial, se realiza un análisis dinámico anual que comprende las etapas de:
- 5 - cada año que se avanza en el tiempo y para una duración de al menos los años restantes de vida útil del parque eólico inicial construido, determinar la línea de tendencia de la potencia eléctrica media de los aerogeneradores instalados en la región donde se encuentra ubicado el parque eólico inicial, y la línea de tendencia de la relación entre la potencia de los aerogeneradores y sus dimensiones de rotor;
 - 10 - cada año que se avanza en el tiempo, y para los años de vida útil restantes del parque eólico inicial construido, realizar, con los datos previamente estimados, el diseño teórico de un parque eólico repotenciado sin considerar la ubicación exacta de las torres aerogeneradoras e infraestructuras, considerando el emplazamiento en donde se encuentra ubicado el parque eólico inicial, tal que se obtienen las características de los aerogeneradores que según las líneas de tendencia se estima presenten cada año, se define el número de torres aerogeneradoras e infraestructuras y su producción anual estimada y se detallan las distancias mínimas de separación entre las torres aerogeneradoras e infraestructuras sin pérdida de producción energética;
 - 15 - cada año que se avanza en el tiempo, y para los años de vida útil restantes del parque eólico inicial construido, diseñar teóricamente, y con ubicación exacta de torres aerogeneradoras e infraestructuras, el parque eólico repotenciado, estableciendo una comparativa entre dicho parque eólico repotenciado y el parque eólico inicial construido, tal que coincidan en cada comparativa la máxima cantidad de infraestructuras y/o elementos constructivos, maximizando así la reutilización y el aprovechamiento;
 - 20 - cada año que se avanza en el tiempo y para los años de vida útil restantes del parque eólico inicial construido, determinar dicha cantidad de infraestructuras y/o elementos constructivos coincidentes entre el parque eólico repotenciado y el parque eólico inicial construido;
 - 25 - obtener la fecha óptima definitiva para realizar la repotenciación del parque eólico inicial construido, de tal forma que dicha fecha óptima definitiva coincide con el año en el que se obtiene mayor coincidencia de infraestructuras y/o elementos constructivos entre el parque eólico repotenciado y el parque eólico inicial construido;
 - 30 - realizar la repotenciación del parque eólico inicial construido mediante el diseño de parque eólico repotenciado calculado previamente y en la fecha óptima definitiva.
2. El procedimiento de la reivindicación 1, donde el parque eólico inicial no está construido y, como paso previo al análisis dinámico anual, se realiza un análisis estático en el instante inicial que comprende las etapas de:
- 35 - diseñar de forma teórica el parque eólico inicial en un emplazamiento virgen sin considerar la ubicación exacta de las torres aerogeneradoras e infraestructuras, tal que se obtienen las características de los aerogeneradores, se define el número de torres
 - 40
 - 45
 - 50

aerogeneradoras e infraestructuras y su producción anual estimada, se detallan las distancias mínimas de separación entre las torres aerogeneradoras e infraestructuras sin pérdida de producción energética, y se establece el número de años de vida útil de dicho parque eólico;

5

- determinar, para una duración de al menos la vida útil del parque eólico inicial, la línea de tendencia de la potencia eléctrica media de los aerogeneradores instalados en la región donde se encuentra dicho emplazamiento virgen, y la línea de tendencia de la relación entre la potencia de los aerogeneradores y sus dimensiones de rotor;

10

- para cada año de vida útil del parque eólico inicial, y con los datos previamente estimados, realizar el diseño teórico de un parque eólico repotenciado sin considerar la ubicación exacta de las torres aerogeneradoras e infraestructuras, considerando el mismo emplazamiento virgen en donde se prevé construir el parque eólico inicial, tal que se obtienen las características de los aerogeneradores que según las líneas de tendencia se estima presenten ese año, se define el número de torres aerogeneradoras e infraestructuras y su producción anual estimada y se detallan las distancias mínimas de separación entre las torres aerogeneradoras e infraestructuras sin pérdida de producción energética, de tal forma que existen tantos diseños teóricos de parques eólicos repotenciados como años de vida útil comprende el parque eólico inicial;

15

20

- para cada año de vida útil del parque eólico inicial, diseñar teóricamente y con ubicación exacta de torres aerogeneradoras e infraestructuras, el parque eólico inicial y el parque eólico repotenciado, estableciendo una comparativa entre ambos, tal que coincidan en cada comparativa la máxima cantidad de infraestructuras y/o elementos constructivos, maximizando así la reutilización y el aprovechamiento;

25

- determinar, para cada año de vida útil del parque eólico inicial, dicha cantidad de infraestructuras y/o elementos constructivos coincidentes entre el diseño de parque eólico repotenciado para ese año y el diseño de parque eólico inicial;

30

- obtener la fecha óptima estimada para realizar la repotenciación del parque eólico inicial, de tal forma que dicha fecha óptima estimada coincide con el año en el que se obtiene mayor coincidencia de infraestructuras y/o elementos constructivos entre el parque eólico repotenciado para ese año y el parque eólico inicial;

35

- obtener el diseño teórico de parque eólico inicial con ubicación exacta de torres aerogeneradoras e infraestructuras, correspondiente al año en el que se obtiene mayor coincidencia de infraestructuras y/o elementos constructivos entre el parque eólico repotenciado y el parque eólico inicial;

40

- construir el parque eólico inicial bajo el diseño que proporciona mayor coincidencia de infraestructuras y/o elementos constructivos entre el parque eólico repotenciado y el parque eólico inicial, y con una repotenciación prevista para la fecha óptima estimada.

45

3. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde en el caso de que la mayor coincidencia de infraestructuras y/o elementos constructivos coincidentes entre el parque eólico repotenciado y el parque eólico inicial construido se obtenga en el último año de la vida útil de dicho parque eólico inicial construido, se analiza el número de coincidencias en los años sucesivos al fin de la vida útil.

50

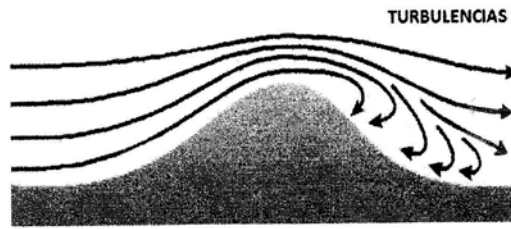


FIGURA 1

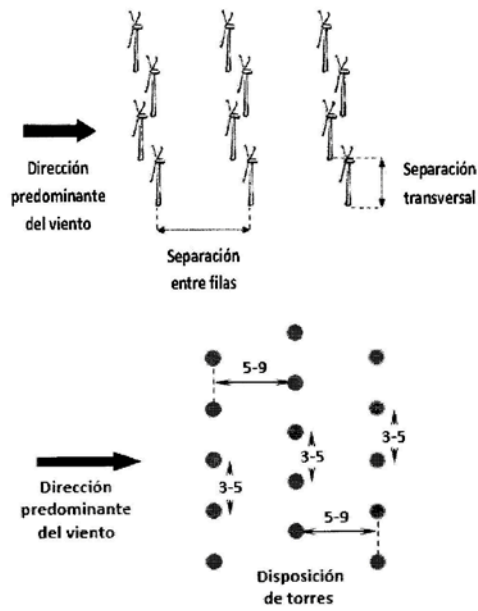


FIGURA 2

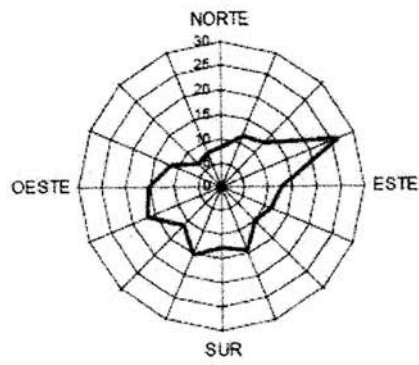


FIGURA 3

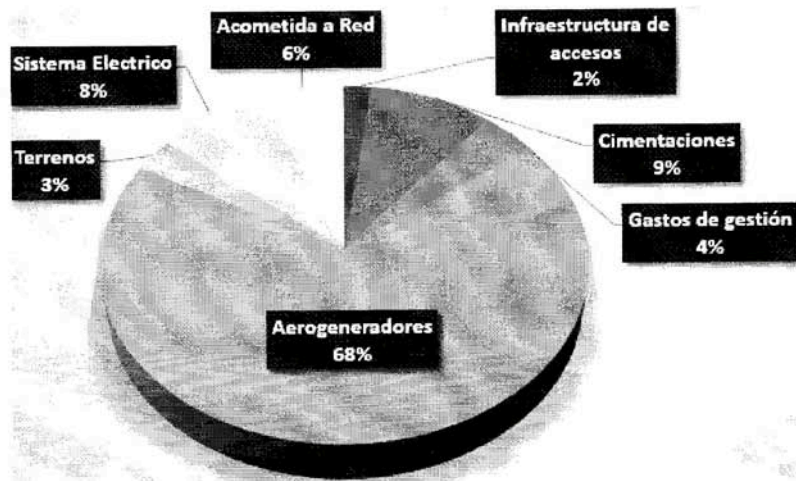


FIGURA 4

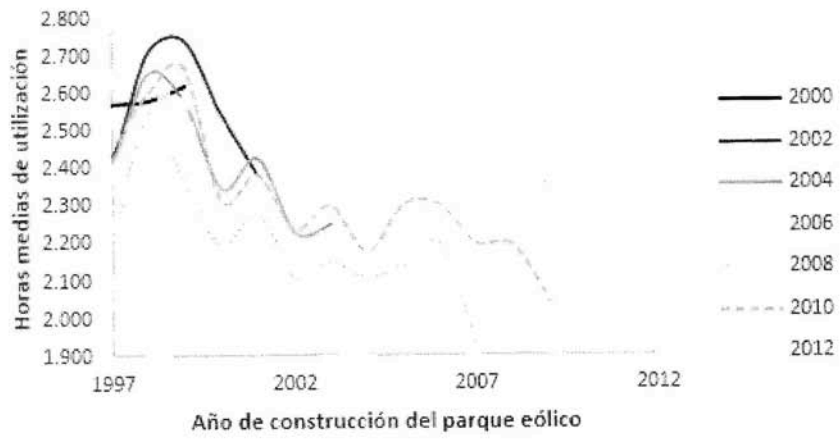


FIGURA 5

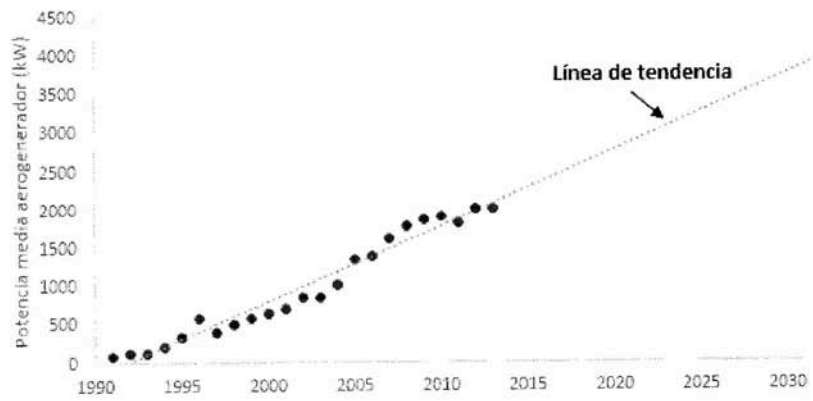


FIGURA 6

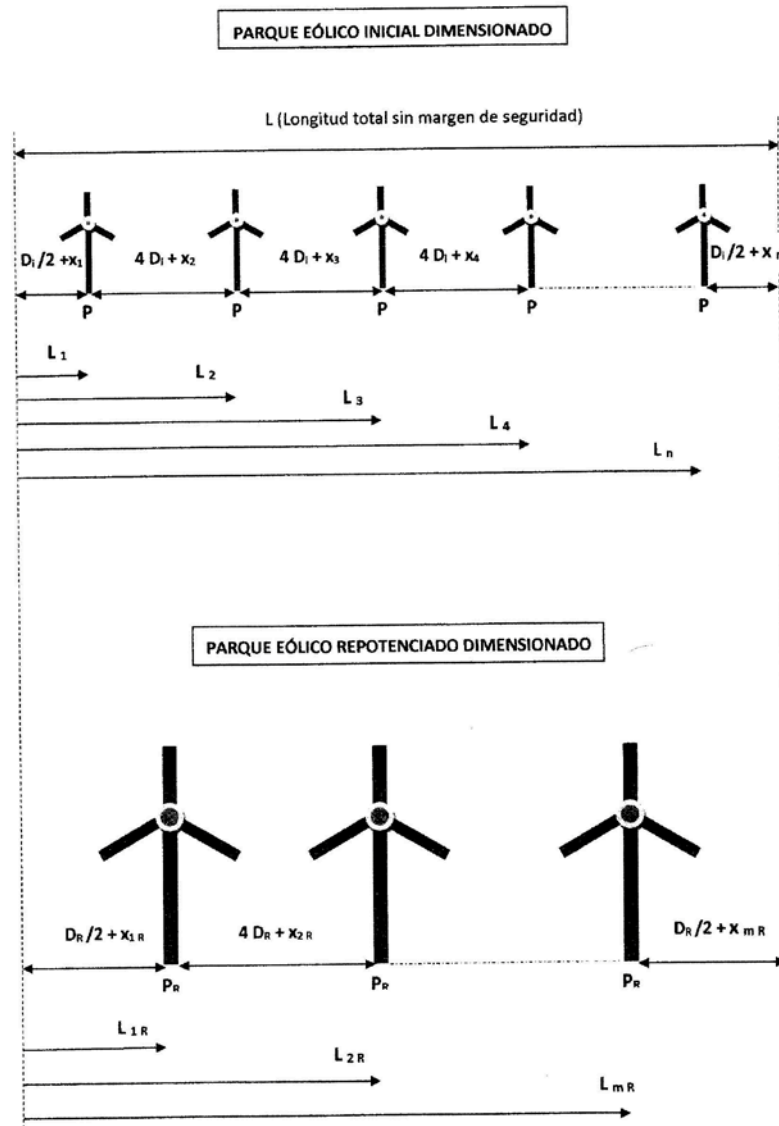


FIGURA 7

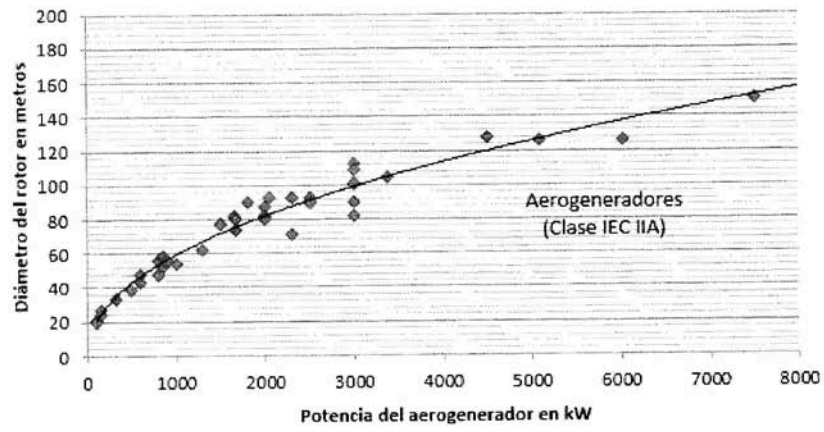


FIGURA 8

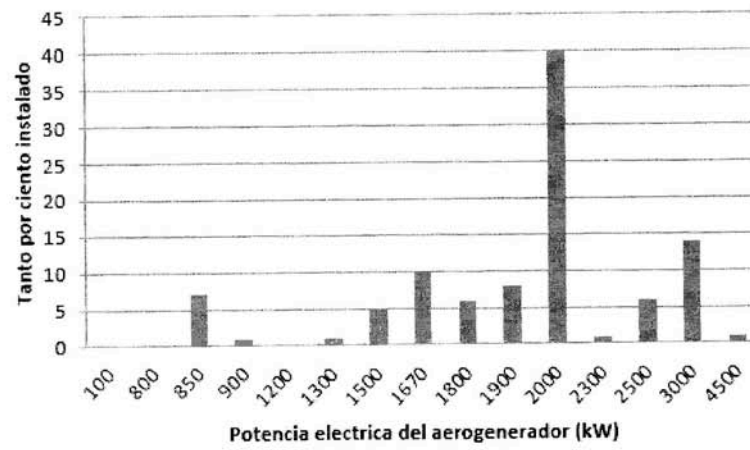


FIGURA 9

Año/s a considerar después de la construcción del futuro parque inicial	Configuración del parque inicial dimensionado Con distancias mínimas de separación	Valores estimados obtenidos de las líneas de tendencia y datos estimados	Configuración del parque repotenciado dimensionado Con distancias mínimas de separación	coincidencias entre los parques dimensionados (inicial y repotenciado)	Reducción del coste de inversión debido a infraestructuras que se pueden reutilizar con planificación	Reducción del coste de inversión debido a infraestructuras que se pueden reutilizar sin planificación	Obtención de los datos necesarios para realizar un análisis económico llevando a cabo la repotenciación	beneficio económico al fin de la vida útil considerada
1 año	Aerogeneradores en el mercado para el año 1	Configuración del parque repotenciado dimensionado o en el año 1	Obtención de los parques teóricos (inicial y repotenciado) para el año 1	R ₁	S ₁	IA _{1,1} , C ₁ , CA _{OM1,1} , IA _{R,1} , Cr ₁ , CA _{OMR1}	B ₁	
2 años	Aerogeneradores en el mercado para el año 2	Configuración del parque repotenciado dimensionado o en el año 2	Obtención de los parques teóricos (inicial y repotenciado) para el año 2	R ₂	S ₂	IA _{1,2} , C ₁ , CA _{OM1,2} , IA _{R,2} , Cr ₂ , CA _{OMR2}	B ₂	
3 años	...	...	...	...	...	...	...
4 años	...	...	...	...	...	...	...
...	
n años	Aerogeneradores en el mercado y sus características estimadas para el año n	Configuración del parque repotenciado dimensionado o en el año n	Obtención de los parques teóricos (inicial y repotenciado) para el año n	R _n	S _n	IA _{1,n} , C ₁ , CA _{OM1,n} , IA _{R,n} , Cr _n , CA _{OMRn}	B _n	

FIGURA 10

Año/s a considerar después de la construcción del futuro parque inicial	Configuración del parque inicial construido con ubicación exacta de las torres	Valores estimados de las líneas de tendencia y datos estimados	Configuración del parque repotenciado dimensionado con distancias mínimas de separación	coincidencias entre los parques (inicial construido y repotenciado dimensionado)	Reducción del coste de inversión debido a infraestructuras que se pueden reutilizar con planificación	Reducción del coste de inversión debido a infraestructuras que se pueden reutilizar sin planificación	Obtención de los datos necesarios para realizar un análisis económico para la vida útil considerada llevando a cabo la repotenciación	beneficio económico al fin de la vida útil considerada
1 año	Registro real de datos de los primeros nueve años de la vida útil del parque referidos a: - a los aerogeneradores existentes en el mercado y sus características, - los costes de mantenimiento y operación, - a la producción del parque, - al precio de la energía - a las características meteorológicas del viento en el emplazamiento, - a la variación del valor del dinero, etc., etc.							
2 años								
3 años								
4 años								
5 años								
6 años								
7 años								
8 años								
9 años								
10 años	Configuración del parque inicial construido (número de torres, potencia, rotor)	Aerogeneradores en el mercado para el año 10	Configuración del parque repotenciado dimensionado en el año 10	Obtención del parque repotenciado teórico para el año 10	R ₁₀	S ₁₀	IA _{R10} , C _i , CA _{OMI10} , IA _{R10} , C _{R10} , CA _{OM} _{R10}	B ₁₀
11 años	Configuración del parque repotenciado exacta de las torres	Aerogeneradores en el mercado para el año 11	Configuración del parque repotenciado dimensionado en el año 11	Obtención del parque repotenciado teórico para el año 11	R ₁₁	S ₁₁	IA _{R11} , C _i , CA _{OMI11} , IA _{R11} , C _{R11} , CA _{OM} _{R11}	B ₁₁
n años		Aerogeneradores en el mercado para el año n	Configuración del parque repotenciado dimensionado en el año n	Obtención del parque repotenciado teórico para el año n	R _n	S _n	IA _{Rn} , C _i , CA _{OMIn} , IA _{Rn} , C _{Rn} , CA _{OM} _{Rn}	B _n

FIGURA 11



- ②① N.º solicitud: 201500012
 ②② Fecha de presentación de la solicitud: 23.12.2014
 ③② Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TECNICA

⑤① Int. Cl.: **F03D11/04** (2006.01)
G06Q10/06 (2012.01)

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	⑤⑥ Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
X	CABREJAS AZAGRA A. et al. "Repotenciación de parques eólicos", 2001, EOI. Recuperado de Internet: URL: http://api.eoi.es/api_v1_dev.php/fedora/asset/eoi:78792/componente78789.pdf (recuperado 25/05/2015)	1-3
A	SERRANO GONZÁLEZ J. et al. "Optimization of wind farm turbines layout using an evolutive algorithm" (20.02.2010) Renewable Energy 35, ELSEVIER. Recuperado de Internet: URL: http://ac.els-cdn.com/S0960148110000145/1-s2.0-S0960148110000145-main.pdf?_tid=134484a4-05d9-11e5-b86f-00000aacb360&acdnat=1432886739_71ac837bdce67c6d03f2d21bc416011a (recuperado 25.05.2015)	1-3
A	EP 2128441 A2 (GEN ELECTRIC) 02.12.2009, todo el documento.	1-3
A	US 2010138201 A1 (GUNDLING CHRIS HENRY) 03.06.2010, párrafos [1-7]; figuras.	1-3
A	US 2011208483 A1 (DILKINA BISTRA N et al.) 25.08.2011, párrafos [1-9]; figuras.	1-3
A	US 2014039843 A1 (HAZRA JAGABONDHU et al.) 06.02.2014, todo el documento.	1-3
A	EP 2463794 A1 (MODI VIVENDI AS) 13.06.2012, todo el documento.	1-3

Categoría de los documentos citados

X: de particular relevancia
 Y: de particular relevancia combinado con otro/s de la misma categoría
 A: refleja el estado de la técnica

O: referido a divulgación no escrita
 P: publicado entre la fecha de prioridad y la de presentación de la solicitud
 E: documento anterior, pero publicado después de la fecha de presentación de la solicitud

El presente informe ha sido realizado

para todas las reivindicaciones

para las reivindicaciones nº:

Fecha de realización del informe
29.05.2015

Examinador
J. Galán Mas

Página
1/4

Documentación mínima buscada (sistema de clasificación seguido de los símbolos de clasificación)

F03D, G06Q, G06F

Bases de datos electrónicas consultadas durante la búsqueda (nombre de la base de datos y, si es posible, términos de búsqueda utilizados)

INVENES, EPODOC

Fecha de Realización de la Opinión Escrita: 29.05.2015

Declaración

Novedad (Art. 6.1 LP 11/1986)	Reivindicaciones 1-3	SI
	Reivindicaciones	NO
Actividad inventiva (Art. 8.1 LP11/1986)	Reivindicaciones	SI
	Reivindicaciones 1-3	NO

Se considera que la solicitud cumple con el requisito de aplicación industrial. Este requisito fue evaluado durante la fase de examen formal y técnico de la solicitud (Artículo 31.2 Ley 11/1986).

Base de la Opinión.-

La presente opinión se ha realizado sobre la base de la solicitud de patente tal y como se publica.

1. Documentos considerados.-

A continuación se relacionan los documentos pertenecientes al estado de la técnica tomados en consideración para la realización de esta opinión.

Documento	Número Publicación o Identificación	Fecha Publicación
D01	CABREJAS AZAGRA A. et al. "Repotenciación de parques eólicos", EOI	2001
D02	SERRANO GONZÁLEZ J. et al. "Optimization of wind farm turbines layout using an evolutive algorithm", Renewable Energy 35, ELSEVIER.	20/02/2010
D03	EP 2128441 A2 (GEN ELECTRIC)	02.12.2009
D04	US 2010138201 A1 (GUNDLING CHRIS HENRY)	03.06.2010
D05	US 2011208483 A1 (DILKINA BISTRA N et al.)	25.08.2011
D06	US 2014039843 A1 (HAZRA JAGABONDHU et al.)	06.02.2014
D07	EP 2463794 A1 (MODI VIVENDI AS)	13.06.2012

2. Declaración motivada según los artículos 29.6 y 29.7 del Reglamento de ejecución de la Ley 11/1986, de 20 de marzo, de Patentes sobre la novedad y la actividad inventiva; citas y explicaciones en apoyo de esta declaración

De las reivindicaciones se deriva que la principal característica técnica es el aprovechamiento de infraestructuras ya existentes en el proceso de repotenciación de un parque eólico. Esta característica ya se contempla en el documento D01, donde se menciona que hay que intentar aprovechar las infraestructuras anteriores (ver páginas 54-63).

Por otro lado, en las reivindicaciones se enumeran una serie de procesos de cálculo, como por ejemplo, el de determinar la línea de tendencia de la potencia eléctrica media de los aerogeneradores o la realización de un diseño teórico de un parque eólico repotenciado, que en la forma en que están definidos, se consideran al alcance del experto en la materia a la hora de diseñar un plan de repotenciación de un parque de aerogeneradores, por ser etapas de diseño o elementos habitualmente tenidos en cuenta en procedimientos de diseño de parques eólicos, como se puede ver los documentos citados (ver, por ejemplo, documento D01, página 27), o como se deriva de la propia definición de estas características "determinar la línea de tendencia", "realizar el diseño teórico", etc. que da a entender que dichos procedimientos son bien conocidos.

Por tanto, se considera que el objeto de la reivindicación es una mera elección de criterios de diseño entre opciones conocidas que no cumpliría el requisito de actividad inventiva según el artículo 8 de la Ley 11/1986.

Por las mismas razones no se considera que las reivindicaciones dependientes 2 y 3 impliquen actividad inventiva según el artículo 8 de la Ley 11/1986.